

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-149843  
 (43)Date of publication of application : 30.05.2000

(51)Int.Cl.

H01J 37/153  
 G21K 1/08  
 H01J 49/48

(21)Application number : 10-312829  
 (22)Date of filing : 04.11.1998

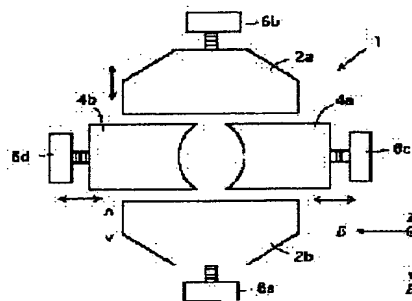
(71)Applicant : NIKON CORP  
 (72)Inventor : TAKAGI TORU

## (54) OPTICAL SYSTEM OF CHARGED PARTICLE BEAM MAP

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce aberration, including aberration with lapse of time, caused by ununiformity of an electromagnetic field among monochrome aberration, by adjusting a shape of the electromagnetic field by providing a movable part to move at least either one of a pair of electrodes or a pair of magnetic poles of a Wien filter.

**SOLUTION:** A charged particle beam for irradiation departed from an irradiated beam source is injected into a Wien filter 1 equipped with a pair of magnetic poles 2 and a pair of magnetic poles 4, and the charged particle beam for irradiation is injected onto the surface of a specimen after they passes the filter. A charged particle beam for observation is led in a different direction from the direction of the irradiated beam source by the Wien filter 1, and the charged particle beam is injected into a means of detecting after it passes through the Wien filter 1. A N magnetic pole 2a and a S magnetic pole 2b are made movable in the direction of a magnetic field B by adjusting devices 6a, 6b, and a positive electrode 4a and a negative electrode 4b are made movable in the direction of an electric field E by adjusting devices 6c, 6d. The adjusting devices 6a, 6b, 6c, 6d are distance adjusting devices by feed screws for example. Thereby, an optical system with high resolution is obtained.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-149843

(P2000-149843A)

(43)公開日 平成12年5月30日(2000.5.30)

(51)Int.Cl.

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 J 37/153

H 0 1 J 37/153

A 5 C 0 3 3

G 2 1 K 1/08

G 2 1 K 1/08

5 C 0 3 8

H 0 1 J 49/48

H 0 1 J 49/48

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全7頁)

(21)出願番号

特願平10-312829

(22)出願日

平成10年11月4日(1998.11.4)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 高木 徹

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

Fターム(参考) 5C033 HH06

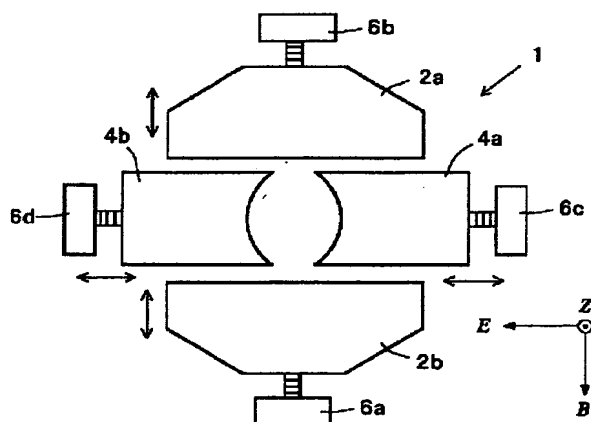
5C038 KK17

(54)【発明の名称】 荷電粒子線写像光学系

(57)【要約】

【課題】ウィーンフィルターで発生する単色収差のうち、電磁場の不均一性によって発生する収差を、経時も含めて簡単に低減できる荷電粒子線写像光学系を提供する。

【解決手段】ウィーンフィルター1に、内部に形成される電磁場の形状を調整できるように電極対4a、4bと磁極対2a、2bのうちの少なくとも1つを移動する可動部6a、6b、6c、6dを設けた。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】照射線源から発した照射用荷電粒子線を照射光学系を介して電極対と磁極対を備えたウィーンフィルターに入射させ、該ウィーンフィルターを通過した前記照射用荷電粒子線を対物光学系を介して試料面に入射させ、該試料面から放出された観察用荷電粒子線を前記対物光学系を介して前記ウィーンフィルターに入射させ、該ウィーンフィルターによって前記照射線源に至る方向とは異なる方向に前記観察用荷電粒子線を導き、前記ウィーンフィルターを通過した後の前記観察用荷電粒子線を結像光学系を介して検出手段に入射させる荷電粒子線写像光学系において、前記ウィーンフィルターは、内部に形成される電磁場の形状を調整できるように前記電極対と磁極対のうちの少なくとも1つを移動する可動部を備えたことを特徴とする荷電粒子線写像光学系。

【請求項2】前記可動部は、前記電極対を電場方向に移動し、前記磁極対を磁場方向に移動するように形成されたことを特徴とする請求項1記載の荷電粒子線写像光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は荷電粒子線写像光学系に関し、特に、ウィーンフィルターを用いた写像型電子顕微鏡等の荷電粒子線写像光学系に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来より微細化、高集積化した半導体素子等の観察、検査をするために、電子ビーム（電子線）等を用いた電子顕微鏡が多く用いられている。電子顕微鏡の中には、走査型電子顕微鏡（SEM）の他に、写像型電子顕微鏡と呼ばれるものがある。走査型電子顕微鏡が、いわゆる点から点への照明・結像を行う顕微鏡であるのに対して、写像型電子顕微鏡は、面から面への照明・結像が可能な顕微鏡である。近年、こうした写像型電子顕微鏡の荷電粒子線写像光学系の開発が盛んに行われている。

【0003】一般に、荷電粒子線写像光学系には、落射照明を行うためにビームセパレーターとしてのウィーンフィルター（イー・クロス・ビー）が設置されている。ウィーンフィルターは、主に対向電極と対向磁極にて構成され、内部に電磁場を形成する。そして、ウィーン条件のもと、ウィーンフィルターに入射する1次電子ビーム（照射用電子線）の軌道を偏向させ、ウィーンフィルターを射出する2次電子ビーム（観察用電子線）の軌道を直進させる。すなわち、ウィーンフィルターは、斜入射した後の写像光学系の照明系の光軸を、結像系の光軸と一致させる。ここで、ウィーン条件とは、対向電極の間の電場Eと、対向磁極の間の磁場Bとが、光軸上を通過する電荷eの電子に対して、

$$F = e \cdot (E - vB) = 0$$

を満たす直進条件のことをいう。実際には、軌跡に沿った力積が0になるような系である。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記従来のウィーンフィルターを用いた写像光学系において、結像系では色収差が発生していた。そして、この色収差を補正するために、ウィーンフィルターの電磁場の方向とは異なる逆向きの電磁場を発生させるイー・クロス・ビーを設置することが提案されている。しかし、単色収差に関して、電場方向ポテンシャルの変化に伴う電子速度のばらつきによって派生する非点隔差を補正する手段は多数開示されているが、それ以外の収差を補正する手段は、あまり提案されていなかった。

【0005】以下、ウィーンフィルターで発生する収差について詳しく説明する。一般的に、ウィーンフィルターの内部では、電場とそれに直交する磁場が重畳されている。ここに、電子ビームを入射すると、電子ビームは、電場方向から凸パワーを受け、磁場方向からはパワーを受けない。このため、電場方向と磁場方向の間では、非点隔差が発生する。また、非点隔差以外には、ウィーンフィルターの中心を通る電場方向の軸と対称な像の歪みが発生することが知られている（K.Tuno, Optik 89, No.1(1991)31-40「Aberration analysis of a Wien filter for electrons」）。これは、ウィーンフィルターの中心軸上ではウィーン条件を満足しても、軸外の領域では、軸から離れるにつれてウィーン条件を満足しなくなるからである。これにより、電子ビームは、ウィーンフィルターの中心軸に対して対称的な偏向を受けることになる。

【0006】一般に、走査型電子顕微鏡においては、系全体で発生する非点隔差を補正するために、スティグメータが設置されている。これに対して、ウィーンフィルターを用いた写像型電子顕微鏡においても、スティグメータをウィーンフィルターとは別に設置することで、電場方向と磁場方向の間に生じる非点隔差を、ある程度補正できる。しかし、前述したウィーンフィルターにて発生する歪みは、スティグメータでは補正できない。これは、ウィーンフィルターの中心軸から磁場方向に離れるにつれ、ウィーン条件からずれて、これが主に電場方向への不均一なパワーとなるからである。したがって、ウィーンフィルターにて発生する歪みは、軸近傍において、磁場方向の物高に依存した電場方向への像流れとなって現れる。また、この歪みは非点隔差のばらつきの原因にもなっており、この歪みを補正しないことには非点隔差を完全に補正したことにはならない。

【0007】このような歪みを補正するには、ウィーンフィルターの形状を最適化することが考えられる。しかし、たとえ設計の段階でどんなにウィーンフィルターの最適な形状を見出しても、機械加工の段階で必ず設計形状との差異が生じてしまう。しかも現実には、設計で使

用する3次元の電磁場解析用のアプリケーションの絶対精度はそれ程高くないため、設計上で最適形状を求めるのは難しい。更には、散乱電子による汚染によって、ウィーンフィルターの電磁場自体が経時的に変化してしまう場合がある。したがって本発明は、ウィーンフィルターで発生する単色収差のうち、電磁場の不均一性によって発生する収差を、経時も含めて簡単に低減できる荷電粒子線写像光学系を提供することを課題とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は上記課題を解決するためになされたものであり、すなわち、添付図面に付した符号をカッコ内に付記すると、本発明は、照射線源(21)から発した照射用荷電粒子線を照射光学系(22)を介して電極対(4)と磁極対(2)を備えたウィーンフィルター(1)に入射させ、ウィーンフィルター(1)を通過した照射用荷電粒子線を対物光学系(24)を介して試料面(23)に入射させ、試料面(23)から放出された観察用荷電粒子線を対物光学系(24)を介してウィーンフィルター(1)に入射させ、ウィーンフィルター(1)によって照射線源(21)に至る方向とは異なる方向に観察用荷電粒子線を導き、ウィーンフィルター(1)を通過した後の観察用荷電粒子線を結像光学系(28)を介して検出手段(29)に入射させる荷電粒子線写像光学系において、ウィーンフィルター(1)は、内部に形成される電磁場の形状を調整できるように電極対(4a、4b)と磁極対(2a、2b)のうちの少なくとも1つを移動する可動部(6a、6b、6c、6d)を備えたことを特徴とす

$$F_x/e = E_x - v_z \cdot B_y$$

$F_x$  : 電子の受ける力のX成分

$e$  : 電荷

$E_x$  : 電場のX成分

$v_z$  : 電子の速度のZ成分

$B_y$  : 磁場のY成分となる。但し、電磁場のZ成分は無視している。

【0012】ここで、ウィーンフィルターの中心を原点とし、原点における電場を $E_0$ とし、磁場を $B_0$ とし、電子速度を $v_0$ とする。更に、原点からの微小変位量を、 $(\delta x, \delta y)$ とする。このとき、近似モデルとして、対向電極と対向磁極を、原点を中心にした電気双極子と磁気双極子として仮定すると、中心近傍における電磁場 $E_x$ 、 $B_y$ は次式のように表せる。

$$E_x = E_0 + 12 \cdot \frac{E_0}{l_e^2} \cdot \delta x^2 - 6 \cdot \frac{E_0}{l_e^2} \cdot \delta y^2 \dots\dots$$

$$B_y = B_0 + 12 \cdot \frac{B_0}{l_m^2} \cdot \delta y^2 - 6 \cdot \frac{B_0}{l_m^2} \cdot \delta x^2 \dots\dots$$

る荷電粒子線写像光学系である。その際、可動部(6a、6b、6c、6d)は、電極対(4a、4b)を電場方向(E)に移動し、磁極対(2a、2b)を磁場方向(B)に移動するように形成されることが好ましい。

【0009】以上の構成の荷電粒子線写像光学系では、まず設計段階において、非点隔差の発生を抑えるようなウィーンフィルターを設計するのではなく、主に均一な非点隔差だけが残るようなウィーンフィルターを設計する。そして、製造段階や経時において、可動な対向電極と対向磁極を移動させて、電極間隔と磁極間隔の比や相対位置を変化させながら、重畳される電磁場を理想形状(理想設計解)に近づける。

【0010】以下、上記構成の荷電粒子線写像光学系のウィーンフィルターにて発生する収差について詳しく説明する。設計上の計算精度や製造誤差等により、ウィーンフィルターの電磁場の形状が理想形状からずれたとき、光軸近傍で発生する最も大きな収差成分は低次収差である。一般に、ウィーンフィルター、ステイグメータ等の電子光学素子に対して、電子ビームが通過する領域は、光軸とその近傍の領域のみである。したがって、低次収差を補正することは、全体の収差が補正され、電磁場が理想形状に近づくことと同義である。

【0011】ウィーンフィルターは、その中心軸と結像系の光軸とが一致するように配置される。そして、光軸方向をZ方向とし、電場方向をX方向とし、磁場方向をY方向としたとき、ウィーンフィルター内での電子の運動方程式は、

(1)

$l_e$  : 電気双極子の長さ

$l_m$  : 磁気双極子の長さ

【0013】また、近似モデルにZ方向に入射する電子には、次式が成り立つ。

$$\frac{1}{2} m v_z^2 + e \delta V = \frac{1}{2} m v_0^2$$

$$\delta V \approx -\delta x \cdot E_0$$

$m$  : 電子の質量

したがって、電子の速度 $v_z$ は、軸近傍において、

$$v_z \approx v_0 - \delta x \cdot \frac{e E_0}{m v_0}$$

となる。

【0014】以上より、(1)式のウィーンフィルター内での電子の運動方程式は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned}
F_x/e &= E_x - v_z \cdot B_y \\
&\approx E_0 - v_0 \cdot B_0 \\
&\quad + \delta x \cdot \frac{e E_0 B_0}{m v_0} \\
&\quad + \delta x^2 \cdot \left( \frac{12 \cdot E_0}{l_e^2} + \frac{6 \cdot v_0 \cdot B_0}{l_m^2} \right) \\
&\quad + \delta y^2 \cdot \left( -\frac{6 \cdot E_0}{l_e^2} - \frac{12 \cdot v_0 \cdot B_0}{l_m^2} \right)
\end{aligned} \tag{2}$$

ここで、ウィーンフィルターのXY平面における電磁場が理想的な直交電磁場であり、ウィーンフィルターの有効領域における電子速度 $v_0$ が充分速いとする。このとき、(2)式の多項部の第1項は0となり、 $l_e$ 、 $l_m$ が無大となることから第3、4項も0となる。したがって、(2)式は次式のように整理される。

$$\begin{aligned}
F_x/e &= E_x - v_z \cdot B_y \\
&\approx \delta x \cdot \frac{e E_0 B_0}{m v_0}
\end{aligned}$$

【0015】上式は、(2)式の多項部の第2項のみが残った式であり、ウィーンフィルターでは良く知られた電場方向の光線高に比例した凸パワ、すなわち非点隔差を表す式である。この非点隔差は、前述したように、スティグメータを設置することで補正することができる。しかし実際には、設計上の計算精度や製造誤差、Z方向の電磁場成分、電子の通過時間等によって、低次の収差成分、すなわち(2)式の多項部の第3項と第4項が残ってしまう。この低次収差の中の $\delta x^2$ 成分は電場方向の凸パワに対し非対称な収束性を示す成分であり、 $\delta y^2$ 成分は電場方向に流れる像歪みを示す成分である。このような $\delta x^2$ 、 $\delta y^2$ 成分等の低次収差は、スティグメータでは補正しきれない。したがって、このような低次の収差成分が最小になるように、電磁極の調整装置によって、電磁極を最適な位置に調整する。

【0016】具体的な電磁極の調整方法は、光軸上において予め定めたウィーン条件を満たすように、すなわち、(2)式の第1項が0となるように、電極電圧と磁極用コイル電流を変化させながら、(2)式の第3項と第4項も0となるように、対向電極と対向磁極の間隔を移動させる。そもそも、理想設計解に対する設計誤差や製造誤差は、実際にはそれ程大きなものではないので、設計上の配置に対する電磁極の補正量は極僅かである。そして最後に、(2)式の第2項が0となるように、スティグメータにて補正することで、写像光学系としての全ての収差が除去される。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を図面によって説明する。図1、2は、本発明による荷電粒子線写像

光学系の一実施例を示す。図1は、本発明の一実施例による写像光学系を示す概略図である。まず、電子銃21より発せられた1次電子ビームは、照射レンズ系22を通過して、ウィーンフィルター1に入射する。ここで、ウィーンフィルター1は、対向磁極2、対向電極4、調整装置等によって構成されている。1次電子ビームは、ウィーンフィルター1によって光路を曲げられる。ウィーンフィルター1を通過した後の1次電子ビームは、対物レンズ系24を通過して、試料23の表面を落射照明する。ここで、照明系は、照射レンズ系22、ウィーンフィルター1、対物レンズ系24等で構成される。

【0018】試料23上に1次電子ビームが照射されると、試料23上で反射する比較的高エネルギーの高い反射電子ビームと、試料23の表面から放出される低エネルギーの2次電子ビームとが発生する。これらの電子ビームのうち、通常、2次電子ビームが結像に用いられる。2次電子ビームは、対物レンズ系24を通過して、ウィーンフィルター1に入射する。ウィーンフィルター1を直進通過した2次電子ビームは、スティグメータ13、結像レンズ系28の順に通過して、検出器29に入射する。この検出器29に入射した2次電子ビームの情報を基に、試料23の観察、検査等を行うことになる。ここで、結像系は、対物レンズ系24、ウィーンフィルター1、スティグメータ13、結像レンズ系28等で構成される。

【0019】図2は、本発明の一実施例によるウィーンフィルターを示す概略図である。ウィーンフィルター1の対向磁極は、N磁極2aとS磁極2bからなり、各磁極は調整装置6a、6bによって、磁場方向Bに移動可能となっている。ここで、N磁極2aとS磁極2bは、対向面において、絶対値は等しく異なる極性を帯びた強磁性体である。また、対向電極は、正電極4aと負電極4bからなり、各電極は調整装置6c、6dによって、電場方向Eに移動可能となっている。ここで、正電極4aと負電極4bは、非磁性体からなる電極である。そして、正電極4aに印加される正電圧と、負電極4bに印加される負電圧は、絶対値が等しい。ここで、調整装置6a、6b、6c、6dは、例えば、送りネジによる距離調整装置である。

【0020】次に、図3～6において、本発明の一実施例によるウィーンフィルタによる収差補正の効果を具体的に説明する。図3は、写像光学系の結像系をモデル化して示した図である。ここで、結像系の主軸 $z$ において、ウィーンフィルタ1に入射する電子ビームKは、ウィーン条件を満たしているものとする。そして、主軸 $z$ の近傍において、主軸 $z$ と平行に、電磁場方向(EB平面)に等間隔に並べて入射した電子ビームKを考える。これらの電子ビームKは、ウィーンフィルタ1を通過した後、スティグメータ13を通過する。ここで、スティグメータ13は、ウィーンフィルタ1で発生する均一な非点隔差成分のみを補正できる。同図の断面M1、M2、M3は、電子ビームKの軌道変化を知るためのサンプル面である。すなわち、断面M1はウィーンフィルタ1に入射する前の電子ビームKの軌道断面であり、断面M2はウィーンフィルタ1を射出した後であってスティグメータ13に入射する前の軌道断面であり、断面M3はスティグメータ13を射出した後の軌道断面である。

【0021】以下、図4～6にて、ウィーンフィルタ1の正電極4aと負電極4bとの電極間隔の補正の有無による各断面M1～M3での電子ビームKの軌道を示す。図4は、断面M1での電子ビームKの軌道断面図である。図中の白丸は電子ビームKを表し、破線の交点は主軸 $z$ の位置を表す。ここでは、前述したウィーンフィルタ1への入射条件より、縦軸に示す磁場方向Bと、横軸に示す電場方向Eとに対して、各電子ビームKは等間隔になっている。

【0022】図5は断面M2での軌道断面図であり、同図(A)はウィーンフィルタ1の電極間隔の補正をする前の状態を示し、同図(B)はウィーンフィルタ1の電極間隔の補正をした後の状態を示す。同図(A)では、磁場方向Bにおいて、ウィーン条件とのずれが光線高に依存して電極方向に流れる偏向を受けている。また、電場方向Eにおいては、主軸よりポテンシャルの高い領域を通過する電子ビームKは速度が小さくなり、主軸よりポテンシャルの低い領域では速度が大きくなるため、ローレンツ力に差が生じて電場方向に凸パワとなるような非点隔差を生じる。これに対して、同図(B)では、主軸近傍でのウィーン条件を保存したまま電極の間隔を調整している。具体的には、同図(B)の場合、電極の間隔を狭める方向に調整することで、設計解に近似した電場形状を形成している。したがって、同図(B)では、収差のうち、均一な非点隔差のみが残っている。すなわち、スティグメータ13では補正できない収差を、ウィーンフィルタ1の調整によって除去している。

【0023】図6は断面M3での軌道断面図の一例であり、同図(A)は図5(A)の後にスティグメータ13にて、図4に近い形状になるように非点隔差を補正した

後の状態を示し、同図(B)は図5(B)の後にスティグメータ13にて同様の補正をした後の状態を示す。同図(A)では、スティグメータ13にて非点隔差を補正した後であっても、図5(A)にて発生した歪みは残ってしまう。これに対して、同図(B)では、スティグメータ13によって、図5(B)で残った均一な非点隔差を好きなだけ除去できるので、写像上歪みのない電子軌道を得ることができる。

【0024】以上のように、本実施例においては、ウィーンフィルタ1の電極4a、4bの間隔を調整装置6c、6dによって調整することで、主に電磁場の不均一性によって発生する単色収差を光軸近傍において補正することができる。なお、本実施例では、電極4は非磁性体であるために、電極間隔調整による磁場への影響はなかったが、電極4を磁性体としたときには、電極4に加えて磁極2の間隔も調整する必要がある。また、電場や磁場が、経時で理想形状からずれたときも、本実施例と同様に、調整装置6a、6b、6c、6dによる電磁極の間隔調整によって、初期の電磁場形状を維持することができる。

#### 【0025】

【発明の効果】以上のように本発明では、ウィーンフィルタの光軸近傍で発生する単色収差のうち、電磁場の不均一性によって発生する低次収差成分を簡単に低減できる高解像度の荷電粒子線写像光学系を提供することができる。また、設計誤差や機械公差を比較的緩くできる比較的安価な荷電粒子線写像光学系を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例による荷電粒子線写像光学系を示す概略図である。

【図2】本発明の一実施例によるウィーンフィルタを示す概略図である。

【図3】本発明の一実施例による写像光学系の結像系を示す概略図である。

【図4】本発明の一実施例によるウィーンフィルタに入射する前の電子ビームの軌道を示す断面図である。

【図5】本発明の一実施例によるウィーンフィルタを射出した後の(A)電極間隔調整前の電子ビームの軌道を示す断面図と、(B)電極間隔調整後の電子ビームの軌道を示す断面図である。

【図6】本発明の一実施例によるスティグメータを射出した後の(A)電極間隔調整前の電子ビームの軌道を示す断面図と、(B)電極間隔調整後の電子ビームの軌道を示す断面図である。

#### 【符号の説明】

1…ウィーンフィルタ

2…対向磁極

2a…N磁極

2b…S磁極

4…対向電極

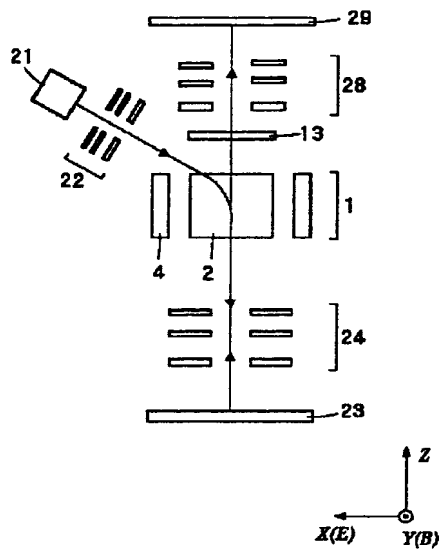
4a...正電極

4b...負電極

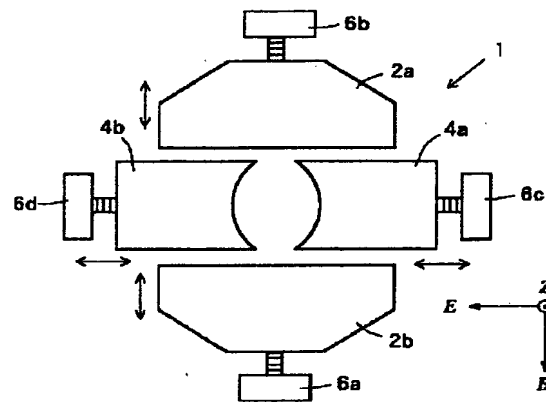
13...スティグメータ

6a、6b、6c、6d...調整装置

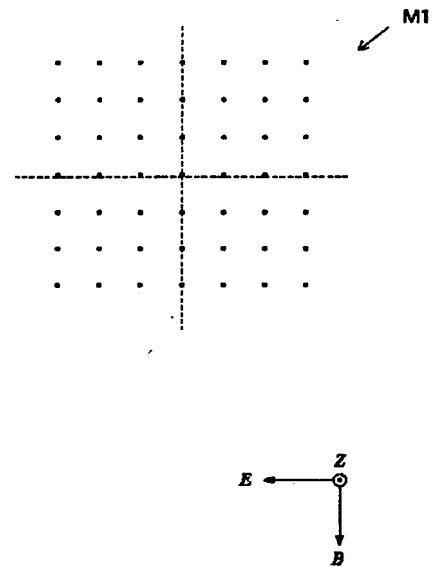
【図1】



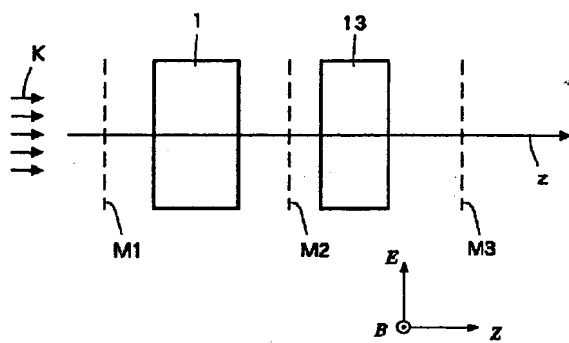
【図2】



【図4】

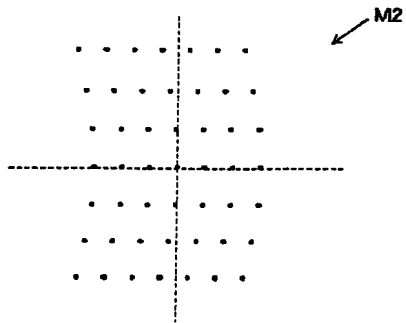


【図3】

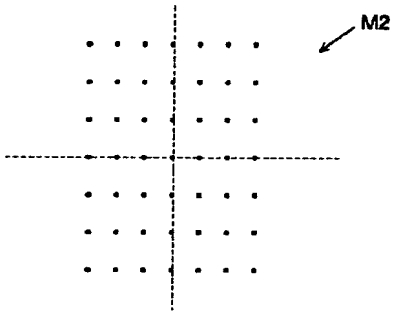


【図5】

(A)

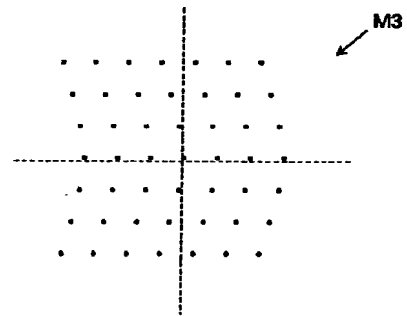


(B)



【図6】

(A)



(B)

